

Абашев Д. Ю., Бородин К. И., Гаврилова Т. О.

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО УСИЛИЯ И МОМЕНТА ПРОКАТКИ ДЛЯ СТАНА ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ «ДУО-КВАРТО»

Аннотация. Определена прочность основных элементов стана таких как: валки, подушки, подшипники, нажимное устройство, станина. При этом все элементы кроме станины удовлетворяют условию прочности для максимального усилия прокатки. Так же определена жесткость клетки, которая во многом определяет возможность получения требуемых размеров проката и различных отклонений по форме. Исходя из расчета жесткость клетки недостаточна для станов тонколистовой холодной прокатки.

Ключевые слова: листопрокатный участок, прочность, жесткость

Abstract. The strength of the main elements of the mill such as: rolls, pillows, bearings, a pressure device, a bed is determined. Moreover, all elements except the bed satisfy the strength condition for maximum rolling force. The stand rigidity, which largely determines the probability of obtaining the required rolled metal dimensions and various deviations in shape, is also defined. In accordance with the calculation, the stand rigidity is insufficient for the cold rolling thin-sheet mills.

Keywords: sheet rolling section, strength, rigidity

Введение

Листопрокатный участок, предназначен для получения горяче- и холоднокатаного листового проката сплавов на основе цветных металлов. Сортамент производимых листов включает в себя листы толщиной от 0,3 мм до 10 мм, шириной от 60 мм до 410 мм и длиной от 250 до 4055 мм, при этом прокатываются сплавы циркония: Э110, Э125, Э635, 110, 110Б и т.д., сплавы гафния: ГФЭ-1, ГФИ-1 и т.д., сплавы титана: ВТЗВ.

Листопрокатный участок базируется на комбинированном прокатном стане «Дуо-Кварто», который представляет собой одноклетьевой, реверсивный стан. Характеристики прокатного стана «Дуо-Кварто» представлены в таблице 1.

Стан включает в себя следующие основные элементы. Станина предназначена для монтирования в них основных механизмов стана и принятия на себя давления, возникающего в процессе прокатки. Нажимные винты предназначены для установки раствора валков путем регулирования положения верхнего валка в вертикальной плоскости при неподвижном нижнем валке.

Таблица 1 – Технические характеристики прокатного стана «Дуо-Кварто»

Параметр		Конфигурация валков	
		«Дуо»	«Кварто»
Начальные размеры заготовок	Толщина, мм	50-120	3-4,5
	Ширина, мм	250-500	250-500
	Длинна, мм	500-1000	-
Конечные размеры заготовок	Толщина, мм	4-4,5	до 0,15
	Ширина, мм	250-500	250-500
	Длинна, мм	13000	-
Высота плоскости проката над полом, мм		600	600
Размеры прокатных валков	Диаметр, мм	550	160
	Длина бочки, мм	630	630
Максимальное раскрытие роликов, мм		140	20
Скорость прокатки, м/с		0,1-2,5	0,1-3,15
Заправочная скорость, м/с		0,3	0,3
Максимальное давление валков, тс		315	500
Скорость валков	Вниз, мм/с	5	5
	Вверх, мм/с	6	10

Расчет вала на прочность

По известным размерам рабочих и опорных валков стана «Дуо-Кварто» с посадкой валков «Кварто», определим допустимые усилие и момент прокатки используя условия прочности по нормальным и касательным напряжениям.

На стане производится прокатка сплавов цветных металлов, примем

Примем коэффициент трения f равным 0,14, а усилие прокатки $P=7700$ кН удовлетворяющее условию прочности каждого из сечений. Тогда момент прокатки равен:

$$M_{кр} = P \cdot f \cdot R = 7700 \cdot 0,14 \cdot 0,085 = 91,63 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (1)$$

где, R – радиус рабочих валков, м.

Тогда действительные коэффициенты запаса прочности равны:

$$n = \frac{\sigma_B}{\sigma}, n = \frac{\tau_B}{\tau}, \quad (2)$$

Для бочки вала:

$$n_b = \frac{\sigma_B \cdot 4 \cdot W_{из.б}}{P \cdot \left(A - \frac{L_p}{2}\right)} = \frac{950 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 0,025}{7700 \cdot \left(1,31 - \frac{0,59}{2}\right)} = 12,15 > [n] = 5 \quad (3)$$

Для шейки вала:

$$n_{ш} = \frac{\sigma_B}{\sqrt{\left(\frac{P \cdot l_{ш}}{4 \cdot W_{из.ш}}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{P \cdot f \cdot R}{W_{кр.ш}}\right)^2}} = \frac{950 \cdot 10^3}{\sqrt{\left(\frac{7700 \cdot 0,54}{4 \cdot 0,0055}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{7700 \cdot 0,14 \cdot 0,085}{0,011}\right)^2}} = 5,01 > [n] = 5 \quad (4)$$

Для хвостовика вала:

$$n_x = \frac{\tau_B \cdot W_{кр.х}}{P \cdot f \cdot R} = \frac{617,5 \cdot 10^3 \cdot 0,0062}{7700 \cdot 0,14 \cdot 0,085} = 41,78 > [n] = 5. \quad (5)$$

Следовательно, все элементы валка удовлетворяют условию прочности [3].

Расчет подушек подшипников

Подушки изготовлены литьем из стали 25Л с пределом прочности $\sigma_B = 525$ МПа. Максимальная реакция на подшипник при симметричной прокатке равна половине усилия прокатки. $R_{max} = P/2 = 7700/2 = 3850$ кН, диаметр предохранительного стакана $d_{ст} = 370$ мм. Размеры подушки подшипника следующие: длина подушки $l_{п} = 484,44$ мм, высота подушки $a_{п} = 966$ мм, высота опасного сечения $h_l = 212$ мм, расстояние от нижнего края подушки до середины опасного сечения $y = 860$ мм, ширина подушки $b_{п} = 355$ мм. Валки установлены на подшипники качения с коэффициентом трения $f = 0,003$, диаметр шеек $d_{ш} = 380$ мм.

Расчетный коэффициент запаса прочности подушек $n_{п}$ определяемый по формуле 2 равен:

$$n_{п} = \frac{\sigma_B}{\frac{6 \cdot Q \cdot y}{b_{п} \cdot h_l^2} + \frac{R_{max}}{S_{ст}}} = \frac{550}{36,38} = 15,12 > [n] = 5, \quad (6)$$

где, Q , кН. – сила, действующая со стороны станины и препятствующая повороту подушки подшипника Определяется по формуле:

$$Q = \frac{R_{max} \cdot d_{ш} \cdot f}{2 \cdot a_{п}}, \quad (7)$$

где $S_{ст}$, m^2 площадь поверхности соприкосновения подушки с предохранительным стаканом определяется по формуле:

$$S_{ст} = \frac{\pi \cdot d_{ст}^2}{4} \quad (8)$$

Подушки подшипников удовлетворяют условию прочности [3].

Расчет на прочность нажимного винта

Коэффициент запаса прочности для нажимного винта определяется по формуле 2:

$$n_{п} = \frac{\sigma_B}{\sqrt{\sigma_{сж}^2 + 3 \cdot \tau_B^2}} = \frac{1000}{130,39} = 7,67 > [n] = 5 \quad (9)$$

Так как $n_{п} = 7,67 > [n] = 5$, нажимной винт удовлетворяет условию прочности [3].

Расчет на прочность нажимной гайки

Определим для каждого напряжения действующих на нажимную гайку

действительные коэффициенты запаса прочности определяемые по формуле 2:

Для напряжений сжатия на опорной поверхности:

$$n_{\text{см.г}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{см.г}}} = \frac{580}{45,83} = 12,65 > [n] = 5 \quad (10)$$

Для напряжений смятия резьбы гайки:

$$n_{\text{см}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{см}}} = \frac{580}{16,35} = 35,47 > [n] = 5 \quad (11)$$

Для напряжений изгиба резьбы гайки:

$$n_{\text{из}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{из}}} = \frac{580}{60,27} = 9,62 > [n] = 5 \quad (12)$$

Для напряжений среза, возникающих в основании резьбы по формуле:

$$n_{\text{из}} = \frac{\tau_{\text{в}}}{\tau_{\text{ср}}} = \frac{350}{17,56} = 19,93 > [n] = 5 \quad (13)$$

Нажимная гайка полностью удовлетворяет условию прочности по всем действующим на нее напряжениям, наименьшей прочностью обладает опорная поверхность гайки, подвергаемая сжатию, и витки резьбы под действием изгиба от реакции усилия прокатки [3].

Расчет на прочность станины

Станина являются самой ответственной деталью прокатной клетки, так как она воспринимают все нагрузки действующие при прокатке, на них крепятся все остальные детали, от состояния станины зависят все параметры прокатки (точность, производительность и т.д.). Поэтому коэффициент запаса прочности принимают удвоенным $[n]=10$. Станины изготовлена литьем из стали 35Л с пределом прочности $\sigma_{\text{в}} = 600$ МПа. Станина рассчитывается исходя из реакции от усилия прокатки, передающейся через подшипники, подушки, нажимной механизм.

Под действием статически неопределимого момента M_0 , и реакции от усилия прокатки R_{max} , в стойках возникают напряжения изгиба и растяжения. Напряжения в стойках равняются:

$$\sigma_{\text{Б}} = \frac{R_{\text{max}}}{2 \cdot F_{\text{Б}}} + \frac{M_0}{W_6} = \frac{\frac{3,85 \cdot 2,84}{4} - 0,41}{0,0192} = 121,02 \text{ МПа} \quad (14)$$

$$n_{\text{Б}} = \frac{\sigma_{\text{в}}}{\sigma_{\text{Б}}} = \frac{600}{121,02} = 4,96 < [n] = 10 \quad (15)$$

Сделаем вывод, что станина не удовлетворит условию прочности, действительные коэффициенты запаса меньше допускаемых, который для станины равен 10. Таким образом, необходимо принять станину как наиболее слабый элемент конструкции стана и в последующем использовать условие прочности для станины в качестве условия для определения максимального усилия и момента прокатки на стане [3].

Расчет жесткости рабочих клеток

Жесткость рабочих клеток отражает упругие деформации, возникающие в клетки стана в процессе прокатки. Так на элементы стана действует усилие прокатки, либо реакция от данного усилия, и при этом они испытывают деформации изменяя свои линейные размеры. При такой деформации рабочей клетки меняются размеры и точность формы готового проката. Количественно жесткость клетки C , $\frac{\text{кН}}{\text{мм}}$ определяется коэффициентом жесткости, которые определяется по формуле:

$$C = \frac{P}{f_{\text{кл}}}, \quad (16)$$

где P – усилие прокатки, кН; $f_{\text{кл}}$ – общая упругая деформация всех элементов рабочей клетки под действием усилия P , мм.

Для определения общей упругой деформации $f_{\text{кл}}$, мм необходимо учесть упругие деформации всех деталей, следовательно, общая упругая деформация определяется по формуле:

$$f_{\text{кл}} = f_{\text{вал}} + f_{\text{п}} + f_{\text{под}} + f_{\text{н.у}} + f_{\text{ст}}, \quad (17)$$

где $f_{\text{вал}}$, $f_{\text{п}}$, $f_{\text{под}}$, $f_{\text{н.у}}$, $f_{\text{ст}}$ – упругие деформации соответственно валков, подушек, подшипников, нажимного устройства, станины, мм.

Суммарные упругие деформации всей клетки по формуле 17:

$$f_{\text{кл}} = 2,434 + 0,044 + 0,076 + 0,362 + 0,546 = 3,462 \text{ мм} \quad (18)$$

По формуле 16 жесткость клетки равняется:

$$C = \frac{7700}{3,462} = 2224,15 \frac{\text{кН}}{\text{мм}} \quad (19)$$

Исходя из этого можно сделать вывод, что клеть не обладает достаточной жесткостью для клеток холодной прокатки [3].

Обсуждение результатов. Заключение

По известным размерам исходя из условия прочности для валков было определено максимальное усилие и момент прокатки для стана листовой прокатки «Дуо-Кварто». Далее по полученному в предварительном расчете значению максимального усилия прокатки при известных размерах была определена прочность основных элементов стана таких как: валки, подушки, подшипники, нажимное устройства, станина. При этом все элементы кроме станины удовлетворяют условию прочности для максимального усилия прокатки. Следовательно, для определения действительного значения максимального усилия прокатки необходимо принимать в качестве исходного условия прочности станину прокатной клетки, а именно её стойки, коэффициент

запаса прочности для которых составил 4,96 при требуемом значении запаса прочности 10.

Так же была определена жесткость клетки, так как именно жесткость клетки во многом определяет возможность получения требуемых размеров проката, а также различных отклонений по форме. Исходя из расчета можно сделать вывод, что жесткость клетки составляет 2224,15 кН/мм и недостаточна для станов тонколистовой холодной прокатки. Это обусловлено тем, что при приложении максимального усилия прокатки возникают слишком большие упругие деформации. Для их устранения необходимо либо увеличивать сечения элементов для повышения жесткости, либо возможно применение клеток с предварительно нагруженной клетью к валкам, которой изначально приложено сжимающее усилие, чтобы нивелировать действие от усилия прокатки.

Библиографический список

1. АО «ЧМЗ» : офиц. сайт. – Челябинск. – URL: <http://www.chmz.net> (дата обращения: 30.08.2020).
2. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов / А. А. Королев. – Москва : Металлургия, 1985. – 367 с.
3. Шилов В. А. Расчеты рабочих клеток прокатных станов (методика и примеры) / В. А. Шилов, Ю. В. Инатович. – 2-е изд., перераб. и доп. – Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2003. – 65 с.